DOI: 10.25515/PMI.2018.3.225

Горное дело

УДК: 622.331

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ЭКСКАВАТОРНОЙ ДОБЫЧЕ ТОРФА СО СТАДИЙНЫМ ОБЕЗВОЖИВАНИЕМ СЫРЬЯ

Э.А.КРЕМЧЕЕВ
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Предложен вариант развития технологий добычи торфа для интенсификации обезвоживания, заключающийся в сушке торфяного сырья в толстых слоях с послойной уборкой в укрупненный валок с последующей вывозкой на полевой склад увеличенных размеров. Складированное сырье круглогодично может вывозиться автотранспортом потребителю или в цеховой модуль для дальнейшей переработки. По размерно-массовым характеристикам основным востребованным видом продукции добычного производства является крошкообразное торфяное сырье различного влагосодержания. На основании результатов научных исследований по гравитационному обезвоживанию торфа и его сушке в полевых условиях предложены пути интенсификации полевого обезвоживания торфяного сырья при добыче на мелкоконтурных и мелкозалежных месторождениях. Представленные результаты опытной эксплуатации технологии сушки торфа в толстых слоях с послойной уборкой отражают увеличение сезонных сборов и снижение влияния неблагоприятных метеофакторов на стабильность процесса добычи. Выполненные исследования позволили разработать структуру комплекса технологических операций экскаваторной добычи торфа со стадийным обезвоживанием сырья в организованном расстиле и промежуточных складочных единицах, обеспечивающих рациональное состояние процесса добычи по совокупности технологических факторов. Представлена примерная схема технологической площадки в начальный и конечный период эксплуатации залежи по технологии экскаваторной добычи.

***Ключевые слова*:** торф, сушимый слой, технология добычи, экскавация торфяной залежи, время сушки, сезонный сбор

***Как цитировать эту статью*:** Кремчеев Э.А. Особенности структуры комплекса технологических операций при экскаваторной добыче торфа со стадийным обезвоживанием сырья // Записки Горного института. 2018. Т. 231. С. 225-234. DOI: 10.25515/PMI.2018.3.225

Введение. В настоящее время в России и других странах при разработке торфяных месторождений нашли широкое применение технологии производства фрезерного и кускового торфа. На технологию «фрезерный торф» приходится до 90-95 % промышленной добычи торфа. Это обусловлено достижением больших объемов добычи и использованием солнечной энергии при проведении самого энергоемкого этапа производства – сушки торфа на поверхности торфяной залежи. Распространение фрезерной технологии добычи и итерации в развитии данной технологической схемы обусловлены удобством конечного продукта производства – крошкообразного торфа, пригодного для большинства видов последующей переработки и прямого использования полевой продукции.

В связи с многообразием особенностей торфа при освоении торфяных месторождений следует с большим вниманием проводить оценку потенциального использования торфяного сырья и продукции проектируемого торфяного предприятия. От этого во многом будут зависеть технологические подходы и техническое оснащение производства. Большое различие в свойствах торфа предполагает дифференцированный подход к выбору способа его добычи и направлений использования. В современных условиях развития торфяного производства при оценке сырьевых качеств торфа возможно следующее укрупненное деление [11, 19, 20, 22-24]:

• Сырье для производства органических удобрений (зольность $A^c \le 35$ %; степень разложения $R_т > 20$ % для верхового и переходного типа торфа и $R_т > 15$ % для низинного типа). Более 95 % российских запасов торфа пригодны для производства удобрений [6]. Технологии получения органических удобрений на основе торфа позволяют в качестве сырья использовать крошкообразный торф различной влажности.

• Сырье для производства топливных продуктов ($A^c \le 23$ %; $R_т > 15$ % для верхового и переходного типа торфа и $R_т > 10$% для низинного типа торфа). Сырьевая база для производства топ-

DOI: 10.25515/PMI.2018.3.225

ливных продуктов на основе торфа составляет более 85 % от общероссийских запасов торфа [6]. Сырье и топливная продукция могут быть представлено крошкообразным торфом кондиционной влажности или формованным в полевых условиях кусковым торфом.

• Сырье для производства торфяной подстилки, субстратных плит, питательных брикетов, торфяных горшочков, кормовых гидролизных сахаров и других продуктов химической переработки торфа ($A^c \le 15$ % и $15 \le R_т > 25$ %). Сырьевая база здесь ограничена крупными торфяными месторождениями верхового типа, расположенными на севере, северо-западе России и в центральной части Западной Сибири. Сырьевая база составляет около 5 % от общих запасов торфа. При добыче такого сырья могут предъявляться специфические требования к гранулометрическому составу и степени нарушенности структуры торфа.

• Сырье для производства активных углей (торф верхового типа с $R_т \ge 35$ % и $A^c \le 6$ %). По данным Государственного баланса запасов (ГБЗ), на территории России все запасы такого сырья сосредоточены в европейской части и суммарно составляют 430 млн т, эта цифра может в значительной степени увеличиться при детальной разведке в зонах 1 и 2 (рис.1), что подтверждается данными о процессе торфонакопления. Торфяное сырье для цехового этапа производства может поставляться в виде крошкообразного торфа различной влажности или в формованном на полевом этапе производства.

• Сырье для производства горного воска, содержащее не менее 4 % бензиновых битумов. Сырьевыми базами подобного торфа на территории России являются Нижегородская, Тверская и Вологодская области [19].

Торфяное сырье в процессе полевого обезвоживания претерпевает значительные изменения водно-физических свойств, что отражается и на других его характеристиках (структурных, химических и т.п.). Например, одна и та же влажность торфяного сырья при сравнимом гранулометрическом составе может быть достигнута в полевых условиях при жестком и мягком режимах сушки, что будет определяться структурой технологического процесса. В общем случае влагоемкость получаемого при жестком режиме сушки торфяного сырья будет ниже в сравнении с мягким режимом сушки, вероятна потеря части легкоподвижных битумов, будет выше крошимость полевого продукта и т.д. Такой торф будет менее ценным для производства сорбционных материалов, глубокой химической переработки и т.п. Структура технологического процесса добычи торфяного сырья и полевого производства продуктов на основе торфа должна определяться требованиями потребителя к сохранению специфических полезных свойств, присущих исходному торфу.

Использование технологий фрезерного торфа затруднено и зачастую экономически нецелесообразно в регионах с малым количеством солнечной радиации и большим количеством осад-

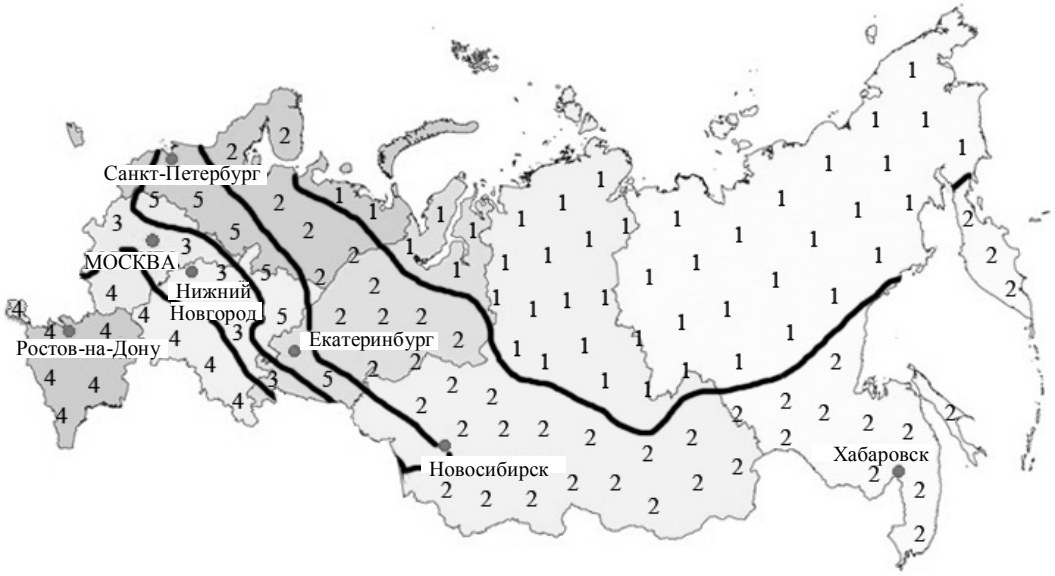


Рис.1. Зональное распределение степени изученности торфяных запасов на территории России

1 – зона практически неизученных запасов торфа; 2 – зона слабо изученных запасов торфа; 3 – зона высокой степени изученности запасов торфа;4 – незаторфованная территория; 5 – зона изученных запасов торфа

DOI: 10.25515/PMI.2018.3.225

ков [14, 15, 19]. Существующие подходы реализации фрезерной технологии добычи и разработанные в предыдущие годы методы интенсификации сушки крошкообразного торфа в полевых условия не в полной мере решают основные задачи концентрации производства и его диверсификации, являясь полумерой для малых и средних производств, особенно в условиях неблагоприятных метеофакторов. Проведенный анализ данных, опубликованных в открытой печати, показал, что резервы в повышении производительности и снижении себестоимости торфодобычи следует искать в оптимизации энергетических затрат на различных стадиях обезвоживания торфа, обеспечении лучшего использования метеорологических условий и увеличении нагрузки на единицу площади добычного поля технологическими методами [1, 12, 13, 18, 19, 24, 25], что позволит средним и мелким торфяным компаниям стать активными игроками на рынке торфяного сырья и продукции.

В результате анализа степени изученности торфяных месторождений, особенностей существующих технологий добычи торфа, структуры торфодобывающей отрасли, наличия потенциальных потребителей торфяной продукции было установлено, что торфяное сырье в виде крошкообразного торфа разного влагосодержания является основным видом торфяного сырья, востребованного для дальнейшей переработки при производстве продукции в различных экономико-инвестиционных направлениях региона в области теплоэнергетики, агропромышленного комплекса, строительства, экологии и др. Данный вид сырья на небольших по площади и мощности торфяных залежах может быть получен путем реализации технологических процессов, в основе которых лежит экскаваторная добыча крошкообразного торфяного сырья с его стадийным обезвоживанием.

Пути интенсификации добычи торфа на мелкоконтурных и мелкозалежных месторождениях. Одним из вариантов развития технологий добычи торфа в направлении интенсификации обезвоживания следует считать сушку торфяного сырья в толстых слоях с послойной уборкой в укрупненный валок с последующей его вывозкой на полевой склад увеличенных размеров. Складированное торфяное сырье круглогодично может вывозиться автотранспортом потребителю или в цеховой модуль для дальнейшей переработки.

Результаты проведенных научных исследований по гравитационному обезвоживанию торфа и сушке в полевых условиях, обобщенные и опубликованные в монографии [8], показали, что интенсивность полевой сушки торфа как в сезон, так и за его пределами может быть повышена.

Знания о форме и энергии связи влаги с твердой фазой торфа при различных влагосодержаниях торфяного сырья позволяет более обоснованно подойти к решению актуальной задачи торфяного производства по оптимизации энергетических затрат на различных стадиях обезвоживания торфа. При сушке тонкого слоя толщиной $H_{\text{опт}}$ в пределах зоны испарения $h_{\text{зи}}$ время сушки $\tau = \text{const}$, что не отражает возможность послойной сработки толстых слоев по мере подсыхания более тонких толщиной $h_i \le h_{\text{зи}}$ (т.е. отсутствует учет радиационного баланса и теплового потока, складывающегося из аккумуляции и глубинного оттока). Для решения этого вопроса воспользуемся значением критерия оптимальности по Л.М.Малкову [1, 4]

$$K_{\text{опт}} = \frac{P_{\text{с}}\left(1 + W_{\text{у}}\right)}{\tau} = \frac{q_i}{\tau}, \qquad (1)$$

где q – сборы влажного торфа с единицы площади поля сушки, $q = (m_{\text{с}} + m_{\text{в}})/F$; F – площадь поля сушки; $P_{\text{с}}$ – загрузка поля сушки по сухому веществу торфа; $W_{\text{у}}$ – уборочное влагосодержание.

Зная, что интенсивность испарения $i_{\text{и}} = -P_{\text{с}}\left(dW/d\tau\right)$, и подставив в формулу (1) выражение для τ, получим

$$\tau = \frac{P_{\text{с}}\left(W_1 - W_2\right)}{i}, \qquad (2)$$

найдем, что

$$K_{\text{опт}} = \frac{\left(1 + W_{\text{у}}\right)i}{W_1 - W_2} \approx i_{\max} \qquad (3)$$

при $\Delta W = W_1 - W_2 = \text{const}$.

DOI: 10.25515/PMI.2018.3.225

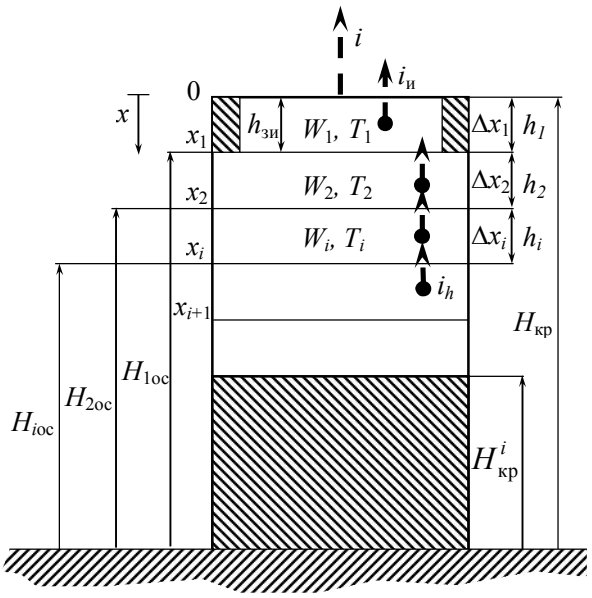


Рис.2. Схема расположения слоев в навале торфа критической толщины при сушке ($|i| = |i_g| + |i_u| + |i_h|$)

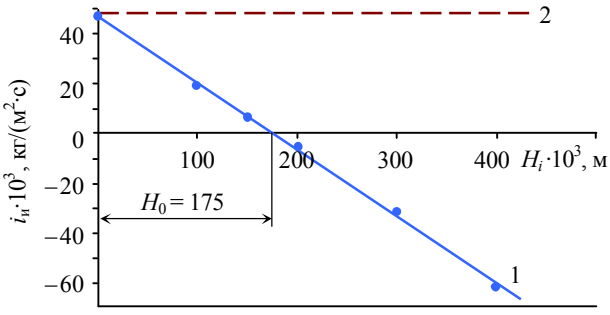


Рис.3. Зависимость интенсивности испарения от толщины навала верхового торфа $R_т$ = 22-25 % (1) и максимальной величины $i_и = \alpha_R B$ (2)

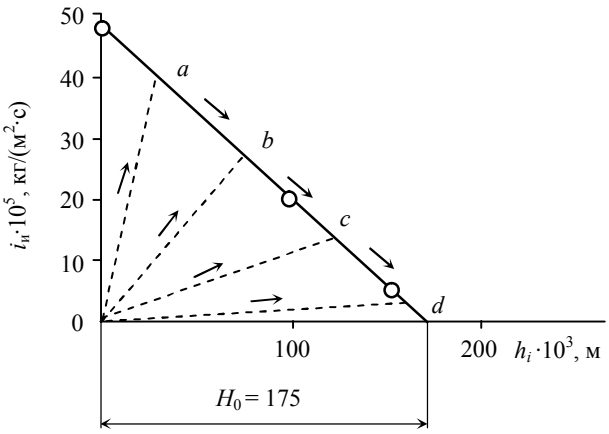


Рис.4. Схема выполаживания максимумов (*a*, *b*, *c*, *d*) зависимостей интенсивности испарения от высоты навала (слоя) торфяного сырья (обработка данных, представленных на рис.3)

Значение интенсивности сушки определяется из соотношения

$$i = -\gamma_c V \int_{W_1}^{W_2} dW , \qquad (4)$$

после интегрирования

$$i = \gamma_c V (W_1 - W_2), \qquad (5)$$

где $V = dx/d\tau$ – линейная скорость испарения, м/с.

Подставим уравнение (5) в (3), получим

$$K_{опт} = \gamma_c V (1 + W_y), \qquad (6)$$

где $V = i/\rho_ж$.

Предположим, что интенсивность испарения в пределах зоны испарения равна интенсивности влагопереноса из нижележащего слоя в верхний (рис.2),

$$i_и = -a_m \gamma_c \frac{dW}{dx} . \qquad (7)$$

С учетом линейной скорости испарения (7) и технологических характеристик $\rho_ж = \gamma_c W$, $i = \rho_ж V_i$, $V_i = dx/d\tau$; $\gamma_c = \rho_т(1 - n)$, $P_c = \gamma_c H_{опт}$, $i = -P_c(dW/d\tau) = \gamma_c H_{опт}(dW/d\tau)$ получаем дифференциальное уравнение

$$K_{опт} = -a_m \gamma_c \frac{1}{dx}\left(\frac{dW}{W}\right)(1 + W_y). \qquad (8)$$

После интегрирования по W при условии $dx \to \Delta x = h$, $W_2 > W_1$ окончательно уравнение (6) принимает вид:

$$K_{опт} = -a_m \gamma_c \frac{1}{h}\left(\ln\frac{W_1}{W_2}\right)(1 + W_y). \qquad (9)$$

Отсюда следует, что чем тоньше сушимый слой, тем выше $K_{опт}$. При сушке толстых слоев интенсивность падает (рис.3, 4).

Уравнение (9) можно записать относительно основной технологической характеристики – загрузки площади сушки по сухому веществу торфа $P_c = \gamma_c h$, тогда

$$K_{опт} = -a_m \frac{P_c}{h^2}\left(\ln\frac{W_1}{W_2}\right)(1 + W_y). \qquad (10)$$

Следовательно, при постоянной загрузке поля сушки по сухому веществу торфа критерий оптимальности растет с уменьшением квадрата высоты слоя и увеличением влагосодержания подстилающего слоя W_2. Значение коэффициента диффузии влаги можно рассчитать, воспользо-

DOI: 10.25515/PMI.2018.3.225

вавшись выражениями [5] $a_m = ih/(6\gamma_c \Delta W)$, где ΔW – изменение влагосодержания за время сушки торфяной крошки, толщина слоя которой меньше или равна величине зоны испарения. Средние значения коэффициента диффузии влаги при изменении толщины слоя от $4{,}0\cdot10^{-3}$ до $30{,}5\cdot10^{-3}$ м соответственно составили $a_m = (1{,}68\text{-}6{,}38)\cdot10^{-6}$ м^2/ч при колебании интенсивности испарения от 0,634 до 0,173 кг/(м^{2}ч).

Для оценки зависимости критерия оптимальности от величины радиационного баланса B преобразуем уравнение (10) с учетом выражения (5) и технологических характеристик. Окончательно выражение принимает вид:

$$K_{\text{опт}} = \frac{\alpha_R (B - P)(1 + W_{\text{у}})}{W} = \frac{q_i}{\tau}. \qquad (11)$$

Значение критерия оптимальности растет с повышением величины радиационного баланса и уменьшением величины теплового потока, что также указывает и на рост сборов торфа с уменьшением влагосодержания согласно уравнению (1).

Таким образом, послойная сработка толстых слоев с позиции интенсификации сушки является предпочтительной по сравнению с сушкой в однослойном расстиле на подстилающей влажной торфяной залежи. Это обстоятельство подтверждается и в работах [2, 4, 14, 16], где оценивалась интенсивность сушки торфа в двухслойном расстиле – сушка на остатках подсохшего торфа, оставшегося после уборки первого слоя ($W_2 < W_1$) [3].

Экспериментальные исследования. В период активного развития торфяной промышленности в СССР различными исследователями проводился грандиозный объем экспериментов, основной целью которых был поиск путей повышения сборов торфа. В результате был сформирован значительный объем эмпирической информации, который зачастую не находил теоретической интерпретации. Анализ экспериментальных данных, полученных за долгие годы полевой работы, позволяет в настоящее время не только подтверждать правильность тех или иных теоретических выводов, но и устанавливать новые взаимосвязи, неизвестные ранее.

Фундаментальное подтверждение уравнения (11) следует из анализа результатов экспериментальных исследований зависимости $iL/B = f(H_{\text{ост}})$ работы [4] (рис.5). Здесь L – удельная теплота испарения влаги из торфа, i – результирующее значение интенсивности сушки. Анализ представленных данных показывает, что iL/B тем больше, чем толще слой, на котором производится сушка верхнего, относительно тонкого слоя, так как iL/B растет до 0,9 ($H_{\text{ост}} \approx 100$ мм, верховой сосново-пушицевый торф, $R_{\text{т}} = 25\%$, $W_{\text{н}} = 2{,}5$ кг(в)/кг(с), а для остальных видов торфа это значение было 0,84 (низинный осоковый торф, $R_{\text{т}} = 20\text{-}25$, $W_{\text{н}} = 4{,}2$ кг(в)/кг(с) и переходный торф, $R_{\text{т}} = 30$ %, $W_{\text{н}} = 5{,}1$ кг(в)/кг(с). С уменьшением $H_{\text{ост}}$ значения iL/B соответственно уменьшаются до 0,68 и 0,50-0,40. При этой величине $H_{\text{ост}}$ возрастает тепловой поток в залежь $P_{\text{акк}} \approx P_{\text{гл}}$. Эту толщину слоя назовем $H^i_{\text{кр}} = 20\text{-}30$, т.е. $h < H^i_{\text{кр}} < H_0$.

При $H_{\text{ост}} < H^i_{\text{кр}}$ сушка торфа в толстых слоя с послойной уборкой, а также подсушка торфа нецелесообразны из-за потерь тепловой энергии в залежь (подстилающий слой – торф, минеральный грунт). Значения $H^i_{\text{кр}}$ должны уточняться для конкретного типа и вида торфа, его влагосодержания, размеров частиц, степени разложения и других внутренних и внешних характеристик, влияющих на тепломассообмен.

Проверка возможности увеличения сборов торфа при его сушке в многослойном толстом расстиле выполнена на основе экспериментальных данных для $q = f(H_{\text{ост}})$, полученных в полевых условиях 2013 г. в ОАО «ТБЗ Усяж» (Республика Беларусь) [9, 10, 17, 21] и ретроспективных данных, полученных в 1981 г. в Тверской обл. [2, 4, 7] (рис.6).

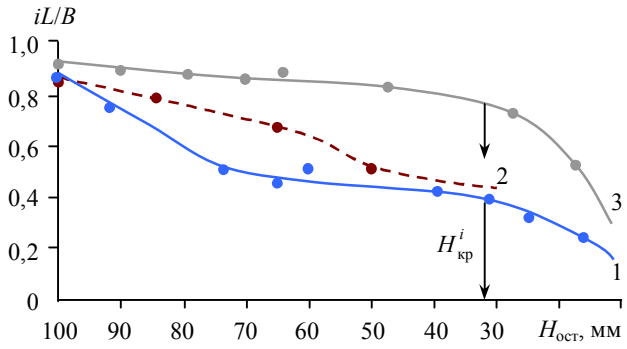


Рис.5. Зависимость относительных затрат тепла на испарение влаги iL/B при сушке торфа в толстых слоях
1 – низинный осоковый торф; 2 – переходный торф; 3 – верховой сосново-пушицевый торф [15, 20]

DOI: *10.25515/PMI.2018.3.225*

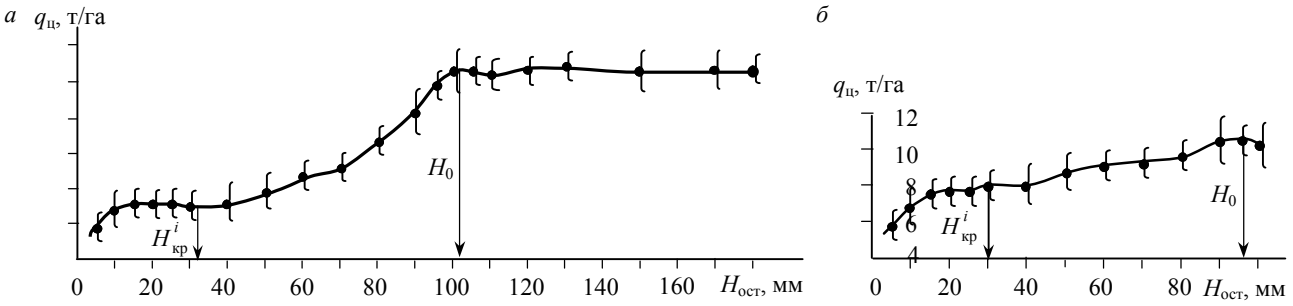


Рис.6. Зависимость цикловых сборов торфа от толщины слоя аэрации (без ворошения): *а* – данные 2013 г.; *б* – данные 1981 г.

Анализ представленных данных показывает устойчивую тенденцию в повышении цикловых сборов торфа с ростом толщины слоя $H_{ост}$. Подтверждение получено для различных сезонов добычи торфа, причем характеристики исходного торфяного сырья отличались. Для малых значений $H_{ост} = H^i_{кр} \le 20\text{-}30$ мм сборы незначительно возрастают с 6 до 8 т/га (рис.6, *б*) и с 15 до 18,5 т/га (рис.6, *а*, табл.1), что указывает на большую потерю тепловой энергии в подстилающем слое и снижение затрат на испарение влаги (см. рис.5). Это условие соответствует существующей технологии фрезерной добычи торфа с двухдневной продолжительностью цикла, где толщина слоя сушимого крошкообразного торфа составляет в среднем 33-44 мм с относительно небольшими сборами торфа при сушке на влажной подстилающей залеже [15, 18].

Таблица 1

Сравнительные итоги опытной эксплуатации технологии сушки торфа в толстых слоях с послойной уборкой (с приведением к классической технологии фрезерного торфа)

Показатель	2011 г	2012 г.	2013 г.	Диапазон изменения показателя	
	Отношение показателя Н/С			Н	С
Выгрузка торфяного сырья на поле сушки, раз	0,26	0,28	0,25	9-7	36-21
Уборка торфа, раз	1,00	0,75	0,86	27-21	35-21
Средняя фактическая продолжительность цикла, сут.	0,33	0,25	0,27	5,1-4,4	1,7-1,2
Среднее значение циклового сбора, т/га	4,84	5,87	5,44	98,0-92,0	19,5-16,1
Сезонный сбор, т/га	1,61	1,46	1,55	846-644	576-399
Влага торфа в штабеле (склад), %	0,95	0,97	0,92	47,6-45,0	50,7-46,1
Площадь участка, га	0,3	0,5	0,1	1-0,1	

Примечания: Н/С – отношение показателя новой схемы сушки к существующей фрезерной технологии; торф низинный осоковый, $R_т = 29\text{-}32$ %

Дальнейший рост $H_{ост}$ приводит к росту значений циклового сбора до 10,5 т/га (рис.6, *б*) и 33,5 т/га (рис.6, *а*) при $H_{ост} = 96$ мм и $H_{ост} = 102$ мм соответственно ($(iL/B) = 0{,}8\text{-}0{,}9$, рис.5) и уменьшении глубинного потока тепла в торфяную залежь (табл.2, $P_{гл} = 18{,}3$ Вт/м^2, $P_п = 1 \cdot 10^3$ Вт/м^2). Таким образом, подтверждаются результаты теоретических исследований по тепловому и радиационному балансу при сушке торфяного сырья в тонких и толстых слоях проеденные ранее.

Таблица 2

Изменение характеристик теплового потока и интенсивности испарения для навала верхового торфа толщиной H_i

Толщина $H_i \cdot 10^{-3}$, м	Тепловой поток P, кВт/м^2			Интенсивность испарения, кг/м^{2}с		$H_{кр} \cdot 10^{-3}$, м	Примечание
	$P_{ак}$	$P_{гл}$	$P_п$	$i_и \cdot 10^{-3}$	$i_{max} \cdot 10^{-3}$		
100	0,252	0,0183	0,2703	0,194		73	$B = 0{,}457$ кВт/м^2;
150	0,378	0,0120	0,3900	0,069		110	$\alpha_R = 1{,}04 \cdot 10^{-6}$ кг/Дж;
200	0,504	0,0092	0,5132	−0,056	0,475	145	$\omega_н = 86\%$;
300	0,756	0,0061	0,7621	−0,317		209	$H_{опт} = 175 \cdot 10^{-3}$ м
400	1,040	0,0046	1,0446	−0,611		273	при $P_{гл} \approx 10$ Вт/м^2

DOI: 10.25515/PMI.2018.3.225

Оптимизация времени сушки торфяного сырья. Следующей особенностью интенсификации процесса сушки и уборки торфа при производстве крошкообразного сырья (продукции) является организационная задача. Она сводится к оптимизации времени на сушку торфа путем исключения, по возможности, вспомогательных технологических операций в дни сушки (ежецикловая уборка, ремонт производственных площадей и осушительной сети, доставка торфяного сырья на поля сушки др.). Этот подход также направлен и на оптимизацию сроков проведения технологических операций по сушке торфа, который следует из анализа формул (1) и (11). В этой связи общие сборы торфа будут выражаться соотношением:

$$q_{\text{сез}} = nK_{\text{опт}}\tau, \tag{12}$$

где n – число циклов уборки; τ – время сушки за сезон добычи торфа. Откуда следует, что сборы торфа за сезон будут определяться числом циклов уборки, величиной $K_{\text{опт}}$ и общей продолжительностью сушки.

Обозначим календарную продолжительность сезона добычи через $\tau_{\text{сез}}$, вспомогательное время через $\tau_{\text{всп}}$, а дни с осадками через $\tau_{\text{ос}}$. Тогда

$$\tau = \tau_{\text{сез}} - \left(\tau_{\text{всп}} + \tau_{\text{ос}}\right). \tag{13}$$

Подставим уравнение (13) в (12) и окончательно получим зависимость

$$q_{\text{сез}} = nK_{\text{опт}}\left[\tau_{\text{сез}} - \left(\tau_{\text{всп}} + \tau_{\text{ос}}\right)\right], \tag{14}$$

растущую с повышением разности временных затрат.

Уравнения (12), (13), (14) можно связать с теоретическими зависимостями оптимизации процесса сушки.

Таким образом, оптимизация технологического процесса сушки сводится к увеличению разности временных затрат, количества циклов уборки и критерия оптимальности при прочих постоянных условиях с внедрением технологии производства крошкообразного торфяного сырья с сушкой в толстом многослойном расстиле и раздельной уборкой из многоцикловых валков. В случае отработки ранее осушенных месторождений с учетом показателей уже сформированных технологических площадок для верхового типа торфяной залежи целесообразно использовать один укрупненный валок, а для низинного типа – два укрупненных валка (рис.7).

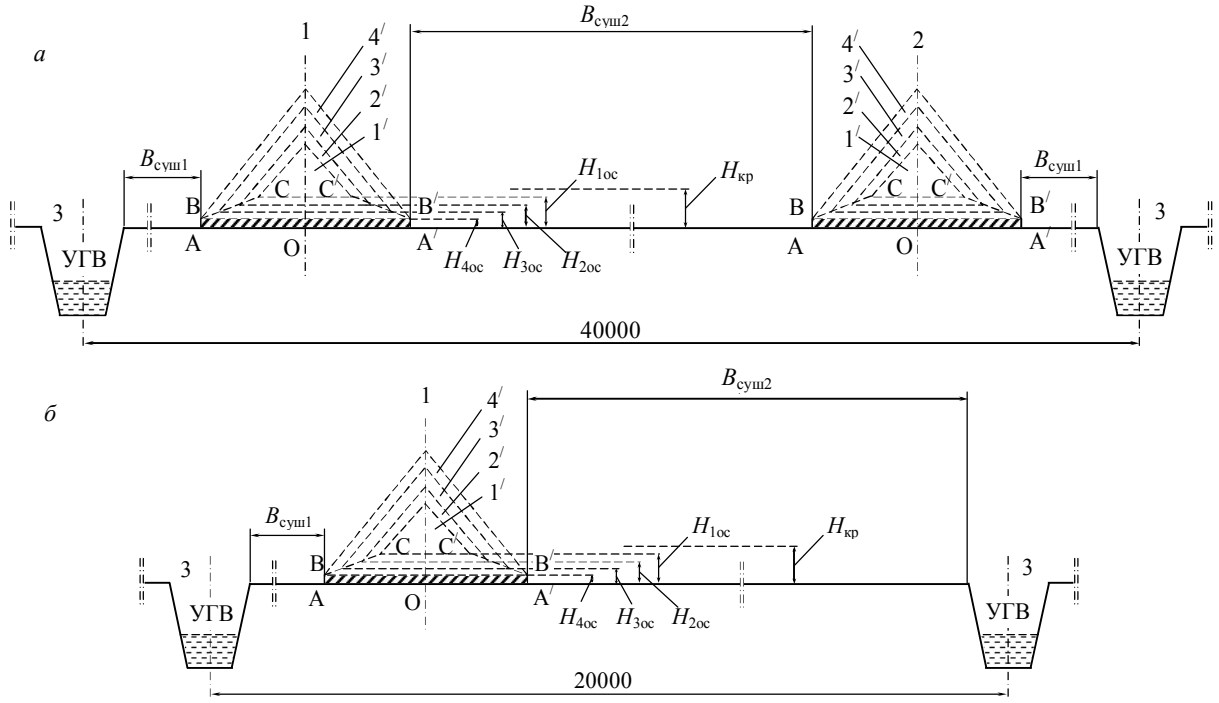


Рис.7. Схема расположения укрупненных валков (4 уборки) на низинной (*а*) и верховой (*б*) торфяной залежи

1, 2 – валки; 3 – картовый канал; OABCC′B′A′ – остаточный слой под многоцикловым валком; $1'$, $2'$, $3'$, $4'$ – навалы высушенного торфа; $B_{\text{суш1}}$ – участок поля сушки с бровкой канала (9,2 м); $B_{\text{суш2}}$ – участок поля сушки в межвалковом промежутке (18 м); УГВ – уровень грунтовых вод

DOI: *10.25515/PMI.2018.3.225*

При такой организации работ по сушке торфа в толстых слоях с послойной цикловой уборкой (3-5 уборок на одну выкладку торфа на поле сушки) в промежуточный укрупненный валок вывозка на склад будет осуществляться в свободное от сушки время.

Представленные схемы сечения многослойных валков (рис.7) для низинных и верховых залежей наглядно демонстрируют, что под многоцикловыми валками в сечении $OABCC'B'A'O$ имеется крошкообразный торф, недосушенный до кондиционной влаги ($\omega \geq 53$ %). При уборке таких валков происходит активное перемешивание торфа, что обеспечивает усреднение влаги по потоку торфяного сырья с приведением ее к кондиционной с тем большей вероятностью, чем больше было убрано в валок высушенного торфа.

Комплекс технологических операций экскаваторной добычи торфа. Добычной модуль, в соответствии с технологической схемой экскаваторной добычи торфа со стадийным обезвоживанием сырья в организованном расстиле и промежуточных складочных единицах, должен включать в себя карьер, участки гравитационного обезвоживания и сушки. Участок гравитационного обезвоживания торфа организуется в непосредственной близости от места экскавации или на специальных площадках, где в навалах оптимальной высоты происходит обезвоживание торфа до достижения навалами критической высоты, определяемой равновесным состоянием влаги под действием сил гравитации и капиллярно-осмотических сил с учетом испарения влаги. Имеет смысл рассматривать техническое обеспечение пооперационно. Структура комплекса выполняемых операций для адаптивной технологии экскаваторной добычи торфа со стадийным

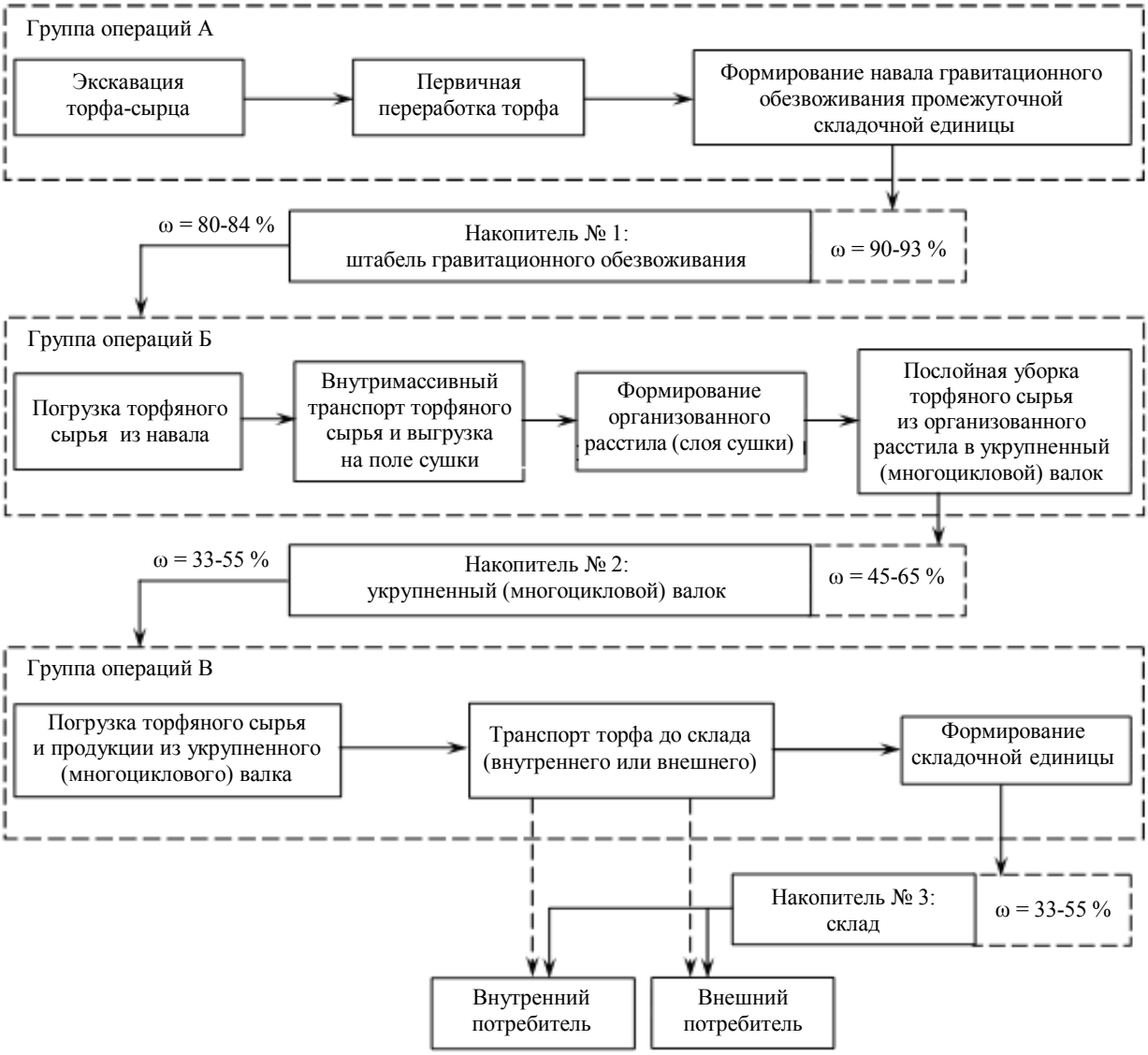


Рис.8. Структура комплекса технологических операций экскаваторной добычи торфа со стадийным обезвоживанием сырья в организованном расстиле и промежуточных складочных единицах

DOI: *10.25515/PMI.2018.3.225*

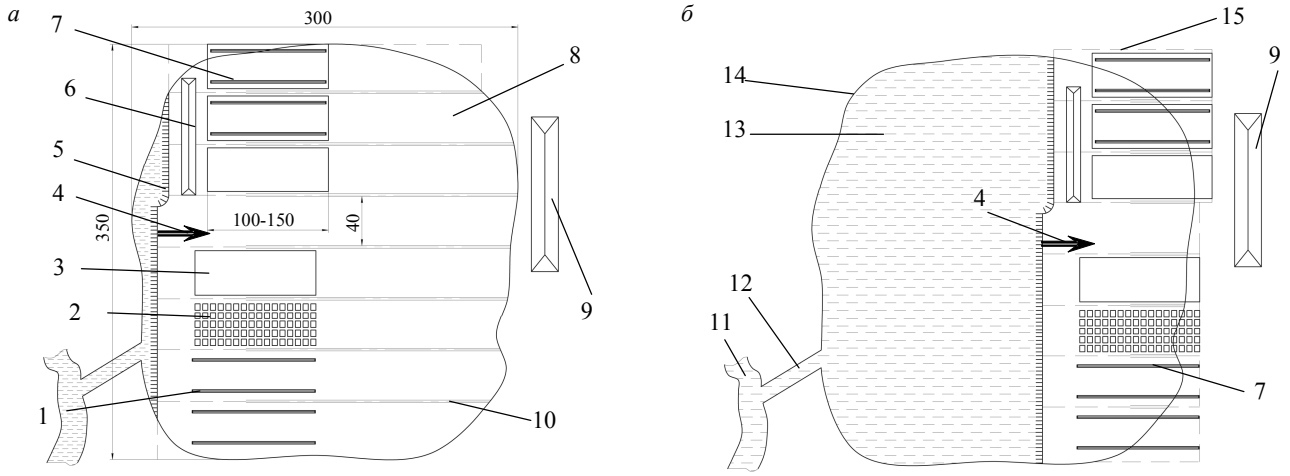


Рис.9. Схема технологической площадки экскаваторной добычи торфа со стадийным обезвоживанием сырья в организованном расстиле и промежуточных складочных единицах (в начальный (*а*) и конечный (*б*) периоды эксплуатации залежи)

1 – переезд; 2 – загрузка торфом поля сушки; 3 – расстил сушки; 4 – направление движения фронта горных работ; 5 – граница торфяного карьера; 6 – штабель гравитационного обезвоживания; 7 – укрупненный валок; 8 – подготовленная к выемке торфяная залежь; 9 – штабель полевой продукции; 10 – картовый канал; 11 – водоприемник; 12 – магистральный канал; 13 – выработанная площадь; 14 – граница торфяной залежи; 15 – граница поля сушки

обезвоживанием сырья в организованном расстиле и промежуточных складочных единицах может быть представлена схемой с линейными и параллельными связями между процессами; экскавации и гравитационного обезвоживания; стилочными операциями, операциями сушки и уборки торфяного сырья в укрупненный валок; операциями транспорта и складирования сырья и продукции (рис.8). Визуализация примерной схемы технологической площадки представлена на рис.9.

На рис.8 подкомплекс операций группы А соответствует операциям добычи, Б – операциям полевой сушки, В – операциям вывозки и складирования сырья и продукции. Отдельные операции в группах осуществляются последовательно, а подкомплексы операций групп А, Б и В осуществляются параллельно, что обеспечено демпферными промежуточными накопителями. Сырьевые потоки между отдельными группами операций обеспечиваются внутренними транспортными связями.

Заключение. Энергоемкость добычи крошкообразного торфа по фрезерной технологии зависит от вариации метеофакторов и из-за неблагоприятных погодных условий увеличивается на 7-10 %. При использовании адаптивной технологии экскаваторной добычи торфа со стадийным обезвоживанием сырья в организованном расстиле и промежуточных складочных единицах обеспечивается до 65 % экономии времени на возобновлении технологического цикла после выпадения осадков. Полный потенциал технологическая схема экскаваторной добычи торфа раскрывает при добыче крошкообразного торфяного сырья повышенной влаги для производства окускованного топлива в заводских условиях. Одним из важнейших преимуществ технологии является возможность ее рентабельного применения на мелкоконтурных (до 10 га) и мелкозалежных (средняя мощность залежи до 1,0 м) торфяных месторождениях. Следует отметить, что применение разработанной технологической схемы для производства крошкообразной полевой продукции влажностью 33-55 % на залежах с площадью более 40 га и на крупных залежах с мощностью более 6,0 м ограничено. При производстве крошкообразной продукции повышенной влаги (65-70 %) ограничение возникает на площадях более 50 га. При производстве крошкообразной продукции для обеспечения экономии энергоресурсов целесообразно использовать интенсивные послойно-поверхностные технологии с включением в них разработанных подходов по сушке толстых слоев с послойной уборкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Антонов В.Я.* Технология полевой сушки торфа / В.Я.Антонов, Л.М.Малков, Н.И.Гамаюнов. М.: Недра, 1981. 239 с.
2. *Афанасьев А.Е.* Физические процессы тепломассопереноса и структурообразования в технологии торфяного производства: Автореф. дис.…д-ра техн. наук / КГУ. Калинин, 1984. 40 с.

3. *Афанасьев А.Е.* Сушка фрезерного торфа в формируемом двухслойном расстиле / А.Е.Афанасьев, А.К.Бавтуто // Физические основы торфяного производства. Межвуз. сб. / КГУ. Калинин, 1986. С. 42-47.

4. *Афанасьев А.Е.* Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства / А.Е.Афанасьев, Н.В.Чураев. М.: Недра, 1992. 288 с.

5. *Афанасьев А.Е.* Структурообразование коллоидных и капиллярно-пористых тел при сушке / ТГТУ. Тверь. 2003. 189 с.

6. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 01.01.2012. Вып. 96. Торф: Сводные данные / Российский федеральный геологический фонд. М., 2012. 108 с.

7. *Ефремов А.С.* Особенности гравитационного обезвоживания торфа / А.С.Ефремов, Г.А.Дмитриев, А.Е.Афанасьев // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 11. С. 61-69.

8. *Кремчеев Э.А.* Гравитационное обезвоживание и полевая сушка в интенсивных технологиях добычи торфа / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2015. 175 с.

9. *Кремчеев Э.А.* К вопросу оценки интенсивности удаления влаги при полевом обогащении торфа / Э.А.Кремчеев, А.В.Михайлов, А.Е.Афанасьев // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12228 (дата обращения: 24.03.2015).

10. *Кремчеев Э.А.* Модель движения влаги при полевом обогащении торфа в толстом расстиле / Э.А.Кремчеев, Д.О.Нагорнов // Записки Горного института. 2014. Т. 209. С. 59-65.

11. *Марков В.И.* Торф – важный возобновляемый природный ресурс провинции России (топливо, органика, сорбент, сырье) / В.И.Марков, Н.И.Волкова. URL:http://landscape-planning.ru/wp-content/uploads/2013/07/ Torf_vazhnyj_ vozobnovljaemyj_ prirodnyj_resurs.pdf (дата обращения: 04.03.2013)

12. *Мисников О.С.* Анализ технологий разработки торфяных месторождений в странах дальнего и ближнего зарубежья / О.С.Мисников, А.Е.Тимофеев, А.А.Михайлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 9. С. 84-92.

13. *Панов В.В.* Тенденции развития торфяной отрасли России / В.В.Панов, О.С.Мисников // Горный журнал. 2015. № 7. С. 108-112.

14. Расширение использования торфа в малой энергетике в рамках реализации ЭС 2030, как перспективного местного вида топлива для развития систем теплоснабжения изолированных потребителей на уровне муниципальных образований в торфообеспеченных регионах РФ: Отчет о НИР; № ГР 01201062471 / А.В.Михайлов, Э.А.Кремчеев, Д.О.Нагорнов и др.; Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2012. 85 с.

15. *Смирнов В.И.* Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа / В.И.Смирнов, А.Е.Афанасьев, А.Н.Болтушкин; ТГТУ. Тверь, 2007. 392 с.

16. Снижение сроков восстановления промышленных запасов региональных торфяных энергоресурсов применением новых технологий добычи: Отчет о НИР; № ГР 0120106247 / Д.О.Нагорнов, Э.А.Кремчеев; СПГГИ (ТУ). СПб, 2011. 50 с.

17. Технологическое обеспечение круглогодового производства качественного торфяного топлива для региональных кластеров малой энергетики: Отчет о НИР; № ГР 01201062473 / Э.А.Кремчеев, Д.О.Нагорнов, А.В.Михайлов и др. // Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2012. 84 с.

18. Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений / А.Е.Афанасьев, Л.М.Малков, В.И.Смирнов и др. М.: Недра, 1987. 311 с.

19. Торф в народном хозяйстве / Б.Н. Соколов, В.Н.Колесник, А.Л.Ямпольский и др. М.: Недра, 1988. 268 с.

20. Требования к торфяному сырью для производства окускованного топлива / А.В.Михайлов, А.В.Большунов, Э.А.Кремчеев, К.В.Епифанцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 4. С. 59-63.

21. *Kremcheev E.A.* Environmentally compatible technology of peat extraction / E.A.Kremcheev, D.O.Nagornov // Life Science Journal. 2014. 11(11s), P. 453-456.

22. *Misnikov O.S.* A Study of the Properties of Portland Cement Modified Using Peat Based Hydrophobic Admixtures // Polymer Science. Series D. 2014. Vol. 7. № 3. P. 252-259.

23. *Misnikov O.S.* Hydrophobic Modification of Mineral Binders by Additives Produced from Peat / O.S.Misnikov, E.Yu.Chertkova // Eurasian Mining. Gornyi Zhurnal. 2014. № 1 (21). P. 63-68.

24. *Smirnov V.I.* Modern approaches to gradation of industrial sites of milled peat extraction / V.I.Smirnov, O.S.Misnikov, O.V.Pukhova // Gornyi Zhurnal. 2014. № 7. P. 67-71.

25. Russian peat industry: Results of the past, view into the future / B.F.Zyuzin, O.S.Misnikov, V.V.Panov, L.F.Kopenkina // Gornyi Zhurnal. 2013. № 5. P. 73-76.

Автор **Э.А.Кремчеев**, *д-р техн. наук*, *доцент*, *kremcheev@spmi.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет*, *Санкт-Петербург*, *Россия*).

Статья поступила в редакцию 16.05.2017.
Статья принята к публикации 22.02.2018.